



(3) 3

増幅器。  
【請求項24】請求項18に於いて、該利得増幅器は可変利得増幅器である事と特徴とする光増幅器。  
【請求項25】光ファイバと、  
該光ファイバ内にラマン利得を発生させる複数の励起光源と、  
該複数の励起光源を合成する第1合成手段と、  
該光ファイバに該合成手段からの励起光を入力するための第2合成手段と、  
該第1合成手段と該第2合成手段との間に該光ファイバから出力された光が該励起光源側に行くことを阻止する光素子を設けたことを特徴とする光増幅器。  
【請求項26】請求項25の該光増幅器に於いて、  
該光素子は光アイソレータであることを特徴とする。  
【請求項27】請求項25の該光増幅器に於いて、  
該光素子は励起によりラマン利得が発生する帯域の波長を取り出す波長分離素子であることを特徴とする光増幅器。  
【請求項28】励起光により入力光をラマン増幅する第1光増幅器と、  
該第1光増幅器の出力光を増幅する第2光増幅器を有し、  
増幅する光の波長帯域が増加した場合に該第2光増幅器と異なる波長帯域に利得を有する第3光増幅器を第1光増幅器の後に第2光増幅器と並列に設け、  
該第3光増幅器の励起光を追加して該第3光増幅器の利得波長帯域を増幅することを特徴とする光増幅方法。  
【請求項29】複数の励起光によりラマン増幅を行なう第1の光増幅手段と、  
該第1の光増幅手段の出力を増幅する第2光増幅手段と、  
該第2光増幅手段は該第2の光増幅手段に入力するパワーを一定に制御することを特徴とする光増幅器。  
【請求項30】請求項29に於いて、  
該第2光増幅手段は第1の波長帯域を増幅する第1の増幅部と第2の波長帯域を増幅する第2の増幅部を設け、  
該第1の光増幅手段は第1の増幅手段に入力されるパワーを一定にすると共に、該第2の光増幅部に入力するパワーを一定にするよう利得を制御することを特徴とする光増幅器。  
【請求項31】伝送路を兼ねるまたは伝送路に接続された光増幅媒体と、該光増幅媒体内で光をラマン増幅するための複数の励起光源と、  
該複数の励起光源出力と、  
該複数の励起光源出力とを該光増幅媒体に結合する手段とを設け、  
該伝送路の条件に於いて該光増幅媒体の利得波長特性を制御する手段とを設けたことを特徴とする。  
【請求項32】請求項31に於いて、  
該複数の励起光パワーのレベルを変えることにより変化させることを特徴とする光増幅器。

(3) 4

【請求項33】請求項31に於いて、  
該複数の励起光源の温度を変えることにより該光増幅媒体の利得特性を変化させることを特徴とする光増幅器。  
【請求項34】請求項31に於いて、  
該複数の励起光源にそれぞれ外部共振器を設け、  
該外部共振器の温度または応力を可変し、  
該光増幅媒体の利得特性を変化させることを特徴とする光増幅器。  
【請求項35】請求項31に於いて、  
特定の波長帯域にラマン増幅利得特性が重なるように該複数の励起光源の波長調整し、  
該励起光源の波長間隔を制御すること、  
該光増幅媒体の利得特性を変化させることを特徴とする光増幅器。  
【請求項36】複数の伝送路間に分割される伝送路と、  
該伝送路の少なくとも2つの該伝送路間には各伝送路ラマン増幅を行なうために設けた励起光源と、  
該励起光源は該伝送路間ごとに異なる波長にすることを特徴とする光増幅システム。  
【請求項37】請求項36において、  
該伝送路間内に設けられた該励起光源は複数の励起光源からなることを特徴とする光増幅システム。  
【請求項38】請求項36において、  
各スパコン間に希土質元素ドープファイバからなる光増幅器を設けた特徴とする光増幅システム。  
【発明の詳細な説明】  
【0001】  
一本の属する技術分野】異なる波長の光信号を兼ねて発する光ファイバを伝送する光波長多重 (WDM) 方式は、通信システムの一層の大容量化、経済化、および、柔軟な光ネットワークを実現する有力な手段である。  
【0002】特に近年の増幅器の進展により、インターネットサービスを変えるバックボーンネットワークの基幹技術として急速に実用化が進んでいる。  
【0003】WDM通信システムでは、主に、光増幅増幅器を用いて、中継段において信号光の増幅しながら長距離伝送を可能としている。光増幅手段としては、希土類ドープ光ファイバ増幅器 (EDFA) やラマン増幅器がある。  
【0004】本発明は各種光通信システムで信号光の増幅に使うことが出来るラマン増幅器であり、特に波長多重光の増幅に適するものである。  
【0005】  
【従来の技術】光増幅器を適用したWDMシステムでは、伝送パワーの上昇は伝送路の非線形光学効果に起因する光波長の劣化やクロストークにより制限され、また下限は光増幅器から発生する自然放光等の光雑音に起因する光SNR (信号対雑音比) の劣化により制限される。  
【0006】数十波から数百波を多重化する高密度WDMシステムでは、非線形光学効果、及び光SNR制限を緩和するために、伝送路の損失を補償するために、数十

5

k m程度の間隔で設置する高出力のエルビウムドープファイバアンプ (EDFA) と併用してラマン増幅器を用いる技術が有望視されている (1999年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、大平他8-10-51、や川上他8-10-54、竹田他8-10-59)。  
【0007】  
【発明が解決しようとする課題】上記の公知技術はラマン増幅器とEDFAの組み合わせることの記載があるが、伝送を行なう信号光の多重数を増加する場合について検討されていない。  
【0008】本発明は波長多重数が増加して、広帯域な伝送信号帯域を構成する光増幅器に関する発明である。  
【0009】  
【課題を解決するための手段】・第1の手段はEDFAの広帯域化のための手段である。  
【0010】光増幅器は波長の異なる複数の励起光により光増幅を行なう第1の光増幅手段と、  
該第1の光増幅手段の出力を複数の帯域に分割する帯域手段と、  
該帯域分割手段で分割された帯域に対して利得がある複数の第2光増幅手段を有する。・第2の手段はEDFAの広帯域化のための手段である。  
【0011】光増幅器は、第1波長帯域の光を増幅する第1の光増幅手段と、  
該第1波長帯域とは異なる第2の波長帯域の光を増幅する第2の光増幅手段と、  
少なくとも第1の手段と第2の手段の両方の光をラマン増幅するよう複数の励起光により面取りを行なう第3の光増幅手段と、  
該第3光増幅手段で増幅された光を該第1の波長帯域手段と第2の波長帯域手段に分離する波長分離手段を設け、  
該分離手段の第1波長帯域の光を該第1の光増幅器に入力されるよう接続し、  
さらに該分離手段の第2波長帯域の光を該第2の光増幅器に入力されるよう接続する。  
・第3の手段は複数の励起光によりラマン増幅の利得波長特性を制御するため手段である。  
【0012】光増幅器は光ファイバと、  
該光ファイバ内にラマン利得を発生させる励起光と、  
該励起光により該光ファイバ内で発生するラマン利得の波長特性を補正するための利得増幅器を設ける。  
・第4の手段はラマン増幅媒体より光励起光源への戻り光防止するため手段である。  
【0013】光増幅器は光ファイバと、  
該光ファイバ内にラマン利得を発生させる複数の励起光源と、  
該複数の励起光源を合成する第1合成手段と、  
該光ファイバに該合成手段からの励起光を入力するための第2合成手段と、  
該第1合成手段と該第2合成手段との間に該光ファイバから出力された光が該励起光源側に行くことを阻止する光素子を設ける。  
・第5の手段は光増幅を行なえる波長帯域が決まっている光増幅器の増幅を容易にするため手段である。  
【0014】光増幅器は励起光により入力光をラマン増幅する第1光増幅器と、  
該第1光増幅器の出力光を増幅する

(4) 6

76482

7

る第2光増幅器を有し、  
増幅する光の波長帯域が増加した場合に該第2光増幅器と異なる波長帯域に利得を有する第3光増幅器を第1光増幅器の後に第2光増幅器と並列に設け、  
該第3光増幅器の励起光を追加して該第3光増幅器の利得波長帯域を増幅するようにする。  
・第6の手段は光増幅を行なえる波長帯域が決まっている光増幅器のダイナミックレンジの調整のため手段である。  
【0015】光増幅器は複数の励起光によりラマン増幅を行なう第1の光増幅手段と、  
該第1の光増幅手段の出力を増幅する第2光増幅手段とを設け、  
該第2光増幅手段は該第2の光増幅手段に入力するパワーを一定に制御する。  
・第7の手段は伝送路に対応して利得プロファイルを制御するラマン増幅器の手段である。  
【0016】光増幅器は伝送路を兼ねるまたは伝送路に接続された光増幅媒体と、  
該光増幅媒体内で光をラマン増幅するための複数の励起光源と、  
該複数の励起光源出力とを該光増幅媒体に結合するための手段とを設け、  
該伝送路の条件に於いて該光増幅媒体の利得波長特性を制御する手段を設ける。  
【0017】  
【実施形態】図1に本発明の第1の実施形態を示す。  
【0018】第1の実施形態は最も実用的な構成である。図中、1は伝送路、2は制御部、11,12,13,14,15,16,17,18,19,1A,1B,1Cは光コネクタ、21,22,23,24,25,26,27,28,29,2A,2Bは波長分離波カプラ、31,32,33,34,35はヒームスプリッタ、41,42,43は光アイソレータ、51,52,53,54,55,56はファイバグレーティングフィルタ、61,62,63は偏光合成カプラ、71,72,73は光減衰器、81,82,83,84,85,86は光源、91,92,93,94,95は受光素子、101,102はバンドパスフィルタ、81,82,83,84,85,86は励起レーザー、601,602,603は励起光源ユニット、111,112は光増幅ユニット、200は波長特性モニタ部、300はパワーモニタ部、900はモニタブロックをそれぞれ示す。  
【0019】伝送路1は光コネクタ1Cにより光コネクタコ1を介して波長分離波カプラ21に接続される。  
【0020】伝送路1は通常の1.3μmゼロ分散ファイバや分散値が大きい分散補償ファイバ (DCF) やゼロ分散値を有した分散シフトファイバ (DSF) を適用することができる。  
【0021】DCF, NZ-DSF, NZ-DSFは実行断面が狭いたため、非線形効果が大きく出るため、ラマン増幅媒体に用いると集中型の増幅器として構成することも可能である。  
【0022】波長分離波カプラ21は伝送路1からの波長多重光 (複数の信号光を多重した光) を透過し、  
励起光を伝送路1に入力する機能を有している。  
【0023】伝送路1では励起光が入力されることで、









19

ン利得の凸凹をゲインコライザにより利得等化する  
が、直線的な利得特性で波長に対して平坦または所定の  
チルトを有する特性となるように、波長特性モニタ部20  
の情報により、制御部で利得励起光源の出力パワーや  
波長を調整している。

【0204】しかし、励起光源の制御範囲が最大又は最小の値となった状態は目的とする直線的な特性や平坦化や所定のチルトの実現ができない。

【0205】本図の実施例ではこれらの状態の場合にゲインコライザの124, 124'の等化特性を変化させ調整することができる。

【2068】図1は図10及び図11の変形例である。  
 の後段1図10及び図11はランマン増幅器となる伝送路の2段目にランマン増幅器を用いるための伝送路のコイル23に接続された、図15の実例は伝送路でランマン利得が発生する前の伝送路、または、ランマン利得が発生している伝送路の位置にダンコンコイル23を生じさせることで、ランマン増幅光周600Cにより伝送路で生じる利得の波長特性を前増幅器で補正する。

【0208】送信機50Cにより送信された波長多重された光信号は中継器内に入力され、光増幅ブロック53Dで(a)に示す利得波長特性により増幅される。

【0209】光増幅ブロック530で増幅された光は光子ソレータ47を介してゲインイコライザ123に入力する。

【0210】ゲインイコライザ1230中の光フィルタは、(b)の損失特性を有している。

【0211】ゲインコライザ23の損失特性はラマン増幅用図2起光源600の複数の周起光波長により生じる凸凹に歪んだラマン増幅利得プロファイルに増幅された時

【0212】ゲインコライザ123を通過した光は(c)の特性で光アイソレータ47を介して伝送路1に出力される。

【0213】伝送路1は(d)のような伝送損失特性を有している。

【0214】伝送路1に対してラマン増幅用励起光源600より複数の光波長の励起光を入力することで(e)の様なラマン利得プロファイルが発生する。

【0215】(e)のラマン利得プロフィールと(d)の伝送路の損失特性の傾きと量が同じなる場合は(f)のような平坦な利得特性が得ることができ、

【0216】図15のラマン増幅用光源600は図1,4,6,7,8,9の波長合成分波ブリュイ2以下の励起光を発生する構成をそれぞれ用いることができる。

【0217】図16の実施例はラマン増幅用励起光源で生じるラマン増幅利得プロファイルの凸凹の歪みに対して、ラマン増幅とEDFAによる光増幅を行なう中継器で、ラマン増幅を行なう励起光波長をずらすことで、受信機端で平坦な特性を得る例である。

21

とを防止する。  
【0233】このように光アイソレータ3を設けることにより励起光源に対して個別に光アイソレータを設ける必要が無く経済的である。

【0234】図18は図17の構成においてさらに、光アイソレータ43の波長特性を考慮した場合の例を示す。

【0235】励起光波長と信号光波長は約100nm程度の波長差がある。

【0236】このようなる波長をカバリーする広帯域な波長特性の光アイソレータの場合には図18のように、光アイソレータを励起波長の光をアイソレートする光アイソレータと用い、さらに波長成分カブリングの特性で信号光の波長(長波長の光)が戻るポート側に信号光波長を阻止するアイソレータを設けることで、波長成分カブリングの特性をカバリーする信号光が励起波長側に進むことを妨げることができる。

【0237】図19は波長分波カブラ21からの信号光のクロストークを波長分波カブラ23により取り出し、モニタとして用いることで、波長分波カブラ21のクロストークによる信号光が励起光源側に進むことを防止する例である。

【0238】波長合分波カプラ2は信号光の波長帯域を  
反射してモニタポート側に出力する波長特性を有してい  
る。

【0239】モニタポートには通常は終端器701を付け  
信号光を終端する。

【0240】モニタを行なう場合はスペクトルモニタ702または光パワーメータ703を接続して信号光の状態を測定することができる。

【0241】図17乃至図19のように光素子を用いて、励起光源への光を阻止することで、励起光のレリー散乱や信号光の漏れ光や波長合成分波グラのクロストークによる戻り光を励起光源に入力させないことで、励起光源の動作を安定させ劣化を防止する。

【0242】図17乃至図19は図1,4,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,20,23,24の勵起光光源に用いることがで  
きる。

【0243】光通信システム毎に伝送路品種（モードフィールド径や挿入損失）、信号光の入カパワー及び伝送路長等がそれぞれ異なる。

【0244】従って、ラマン増幅器を有する光増幅器は光通信システムに応じて求められる所要の所利得特性が光通信システム毎に異なる。

【0245】そこで、通信システム毎にラマン増幅行なうための励起波長やその波長間隔を設定する必要がある。

【0246】図20は複数のラマン増幅用励起光源を制御して、伝送路1で生じるラマン利得プロファイルを整える場合場合の具体例を光源86の制御より行なう例を示す。

# Case

特開2002-76482

【0247】図2αは制御部2の出力により光源86である半導体レーザーの動作温度を変化させて、発振波長を可変にする。

【0248】一般的に、動作温度の変化により中心波長の変化は  $0.45 \text{ nm}/^\circ\text{C}$  程度であり、そこで、例えば動作温度を  $10^\circ\text{C}$  変化させて、温度コントロールすることで、励起光の中心波長を  $4.5 \text{ nm}$  変化させることができ、これにより、ラマン増幅の利得波長特性を調整できる。

【0249】また、半導体レーザーの出力側に付加された外部共振器用のファイバブラッググレーティングフィルタ56に温度制御や応力を加えて、発振波長を可変にすることも可能である。

【0250】ファイバブラッググレーティエンディングフィルタ  
56は動作温度の変化による中心波長の変化は 0.01 nm/  
°C程度である。

【0251】光源86とファイバブラッググレーティングフィルタ56はそれぞれ個別又は組み合わせて波長制御を行なうことができる。

【0252】図では光源86とファイバブラッググレーティングフィルタ56で波長制御を行なっているが、制御を行なう光源及び外部共振器はどの波長でも良いし、全ての波長を含む複数の光源を及び外部共振器の波長を制御しても良い。

【0253】しかし、図20のように複数波長の励起光により構成されたラマン増幅器の励起光を発生させる場合については中心波長が他の励起光波長に比べて長波長側にある励起光源について、発振波長を可変にできる構成や制御を適用することが望ましい。

【0254】その理由は、伝送路1の損失波長特性、ラマン散乱効果とラマン利得プロファイルの形状より説明できる。

【0255】図21に、モードフィールド径や、波長分散値が異なる一般的な伝送路ファイバ3種の損失波長特性を示す。

【0256】図23の損失波長特性は最長波長側の損失特性の差が大きくなる傾向がある。

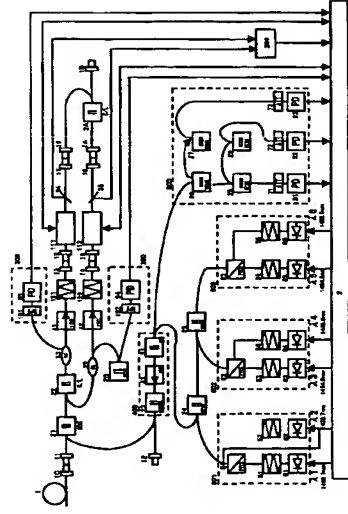
【0257】また、伝送路で発生するララン散乱効果についても、入力条件や伝送路長により、その発生量は異なるが、この差分についても中心波長帯より最長波長側が大きくなる傾向がある。

【2058】ラン、増幅の利得プロファイルの形状は利得ピークから短波長側に比べて長波長側は傾斜が急な傾向があるため、最も長波長のラン増幅プロファイルは他の周波数より生じる利得の重なりが少なく、単一特性によるラン増幅となり、複長波長による利得増幅、波長の調整自由度が少なくなる可能性がある。

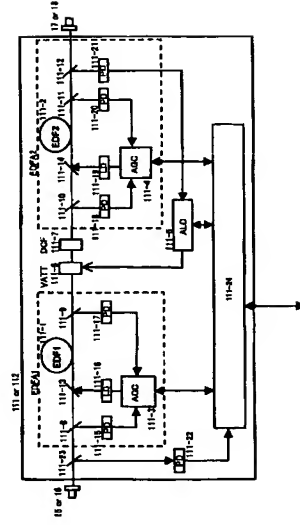
【0259】以上より、長波長側の励起光波長を制御することでも最も効果的に利得条件を生業することができ、異なるシステム条件に対応できる光増幅器を構成できる。



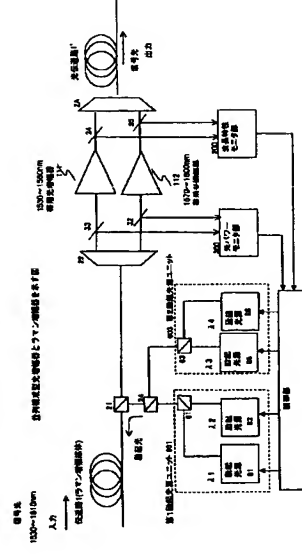
【図1】



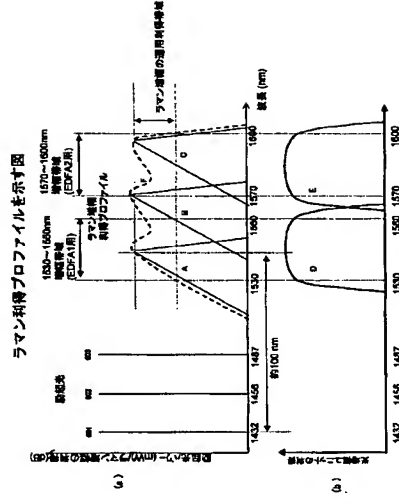
【図2】



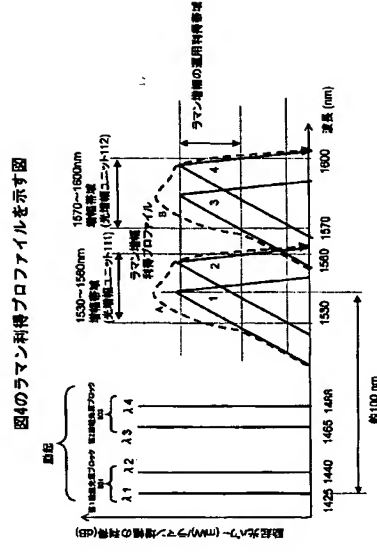
【図4】



【図3】



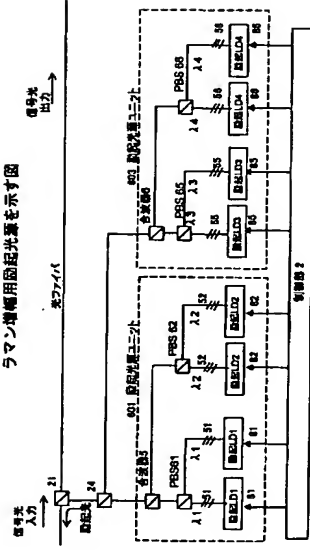
【図5】





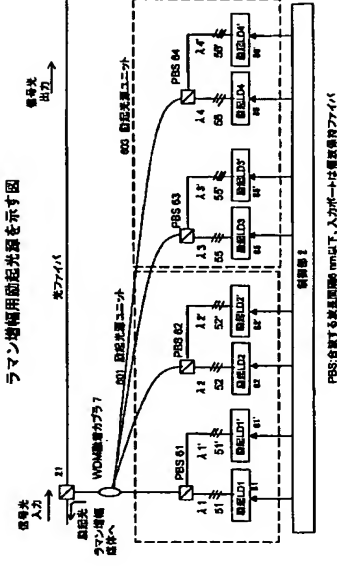
【図6】

ラマン増幅用励起光源を示す図



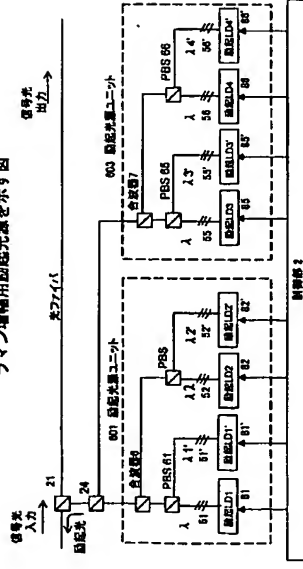
【図8】

ラマン増幅用励起光源を示す図



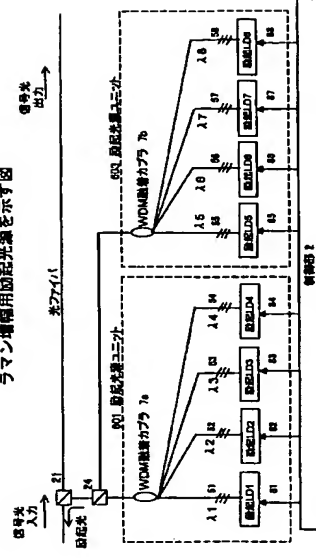
【図7】

ラマン増幅用励起光源を示す図



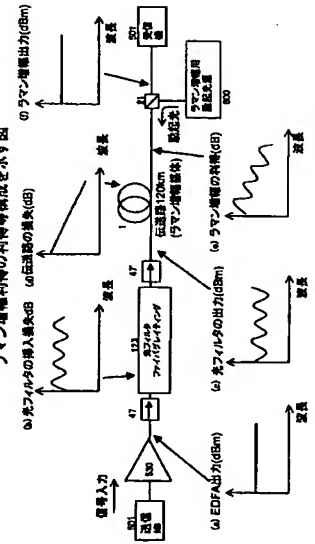
【図9】

ラマン増幅用励起光源を示す図



【図15】

ラマン増幅利得の利得等構成を示す図

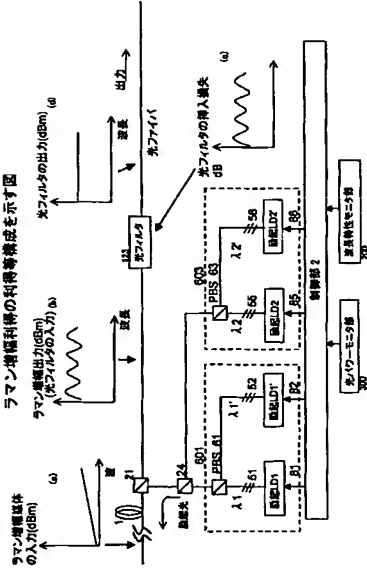


(19)

(20)

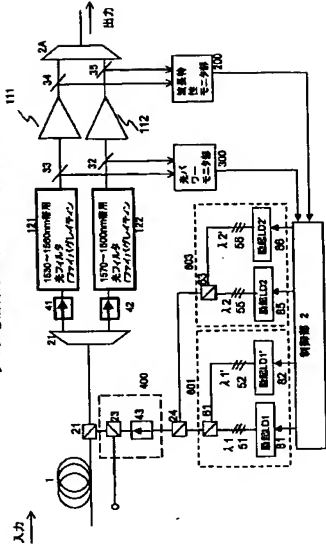
【図10】

ラマン増幅利得の利得等構成を示す図



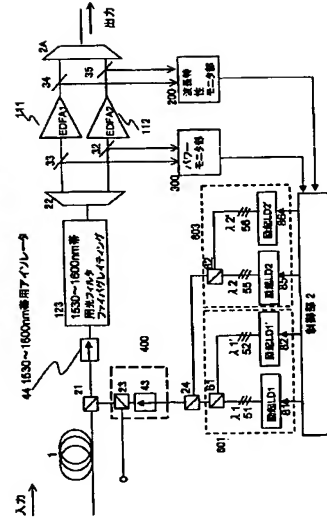
【図12】

ラマン増幅利得の利得等構成を示す図



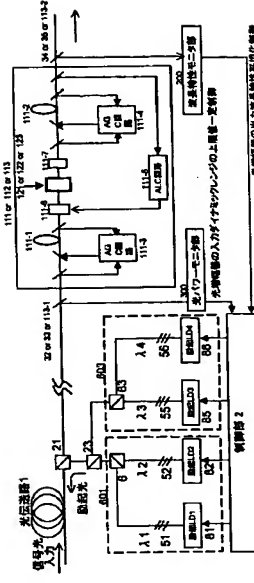
【図11】

ラマン増幅利得の利得等構成を示す図



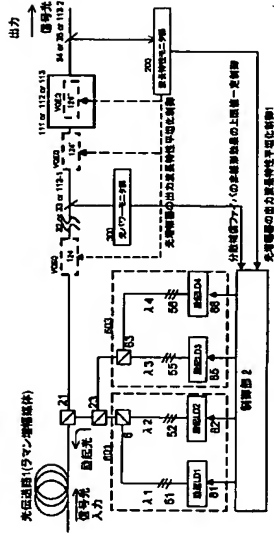
【図13】

ラマン増幅利得の利得等構成を示す図



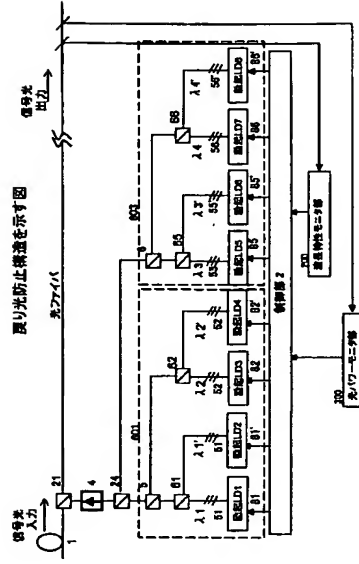
【図14】

ラマン増幅利得の利得構成を示す図



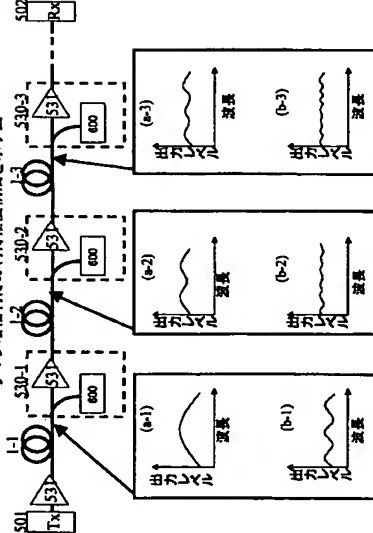
【図17】

戻り光防止構造を示す図



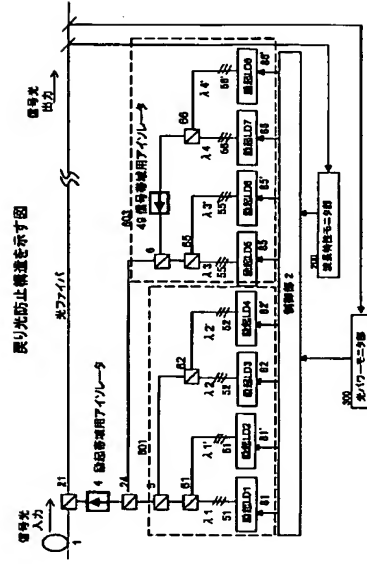
【図16】

ラマン増幅利得の利得構成を示す図



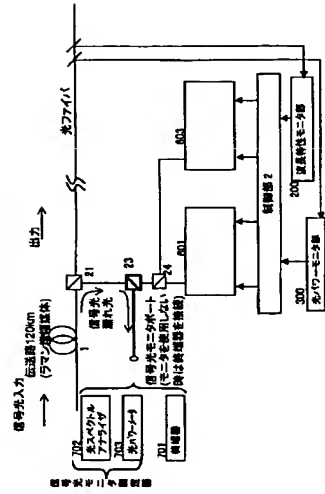
【図18】

戻り光防止構造を示す図

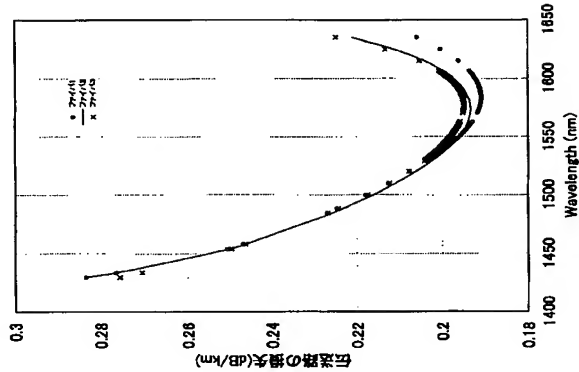


【図19】

戻り光防止構造を示す図

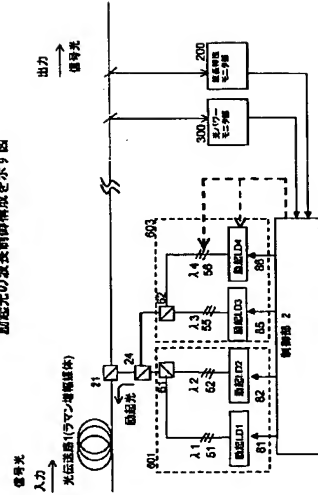


【図21】



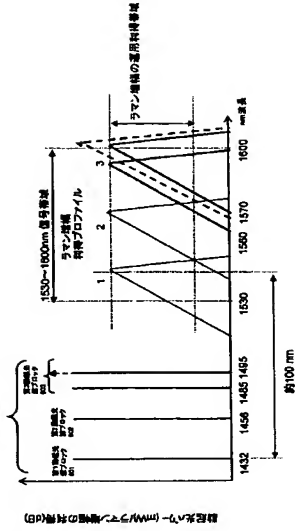
【図20】

励起光の波長制御構造を示す図



【図22】

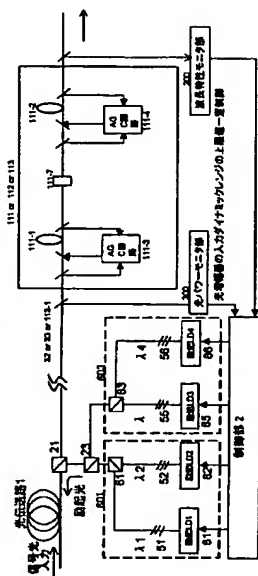
ラマン利得プロファイル



Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA01 DA10 EA07  
EA08 EB15 HA24  
SF072 AB09 AK06 HA02 JJ20 KK15  
KK30 PP07 QQ07 YY17  
SK002 AA06 BA02 BA04 BA05 BA13  
BA21 CA01 CA10 CA13 DA02  
FA01

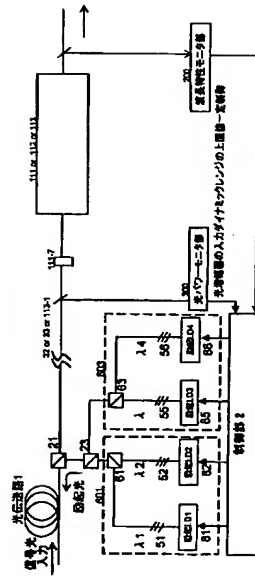
【図23】

光増幅器を示す図



【図24】

光増幅器を示す図



フロントページの続き

| 識別記号        | F I | H 0 4 B | 9/00 | E | J | タームコード(参考) |
|-------------|-----|---------|------|---|---|------------|
| (53)Int.Cl. |     |         |      |   |   |            |
| H 0 4 J     |     |         |      |   |   |            |
| 14/00       |     |         |      |   |   |            |
| H 0 4 B     |     |         |      |   |   |            |
| 10/27       |     |         |      |   |   |            |
| 10/16       |     |         |      |   |   |            |

(72)発明者 林 悦子  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内  
(72)発明者 菅谷 尚  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内  
(72)発明者 木下 進  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**